

ENSAYO SOBRE LA ABSORCIÓN Y DISTRIBUCIÓN DEL NITRÓGENO Y SU EFICIENCIA DE USO

Efecto del aporte estacional del abono nitrogenado en cítricos

El objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de distintos fraccionamientos del abono nitrogenado sobre la biomasa, absorción y dis-

tribución del nitrógeno aplicado en cítricos, con el fin de establecer una óptima distribución estacional del abono durante la época de abonado.

B. Martínez-Alcántara, A. Quiñones,
E. Primo-Millo y F. Legaz.

Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias, Centro de
Citricultura y Producción Vegetal. Moncada (Valencia).

La problemática de la contaminación por nitrato ha adquirido una gran relevancia en los últimos años, como consecuencia de las altas concentraciones de este ión en las aguas subterráneas de la zona litoral de la Comunidad Valenciana (Babiker *et al.*, 2004; de Paz y Ramos, 2004). Este incremento se debe a que, el ión nitrato apenas es retenido en las posiciones de intercambio iónico del suelo, por ello, tiene una gran movilidad y puede ser arrastrado, por lluvias intensas y/o

manejo inadecuado del agua de riego, a zonas profundas del suelo fuera del alcance de las raíces. Además, la concentración de las precipitaciones durante el otoño e invierno, coincidiendo con el período de letargo que se caracteriza por una baja absorción radical, favorece la lixiviación del nitrato excedentario, originando la contaminación de los acuíferos subterráneos. En este sentido, los países miembros de la UE desde 1991, con la Directiva 676/CEE relativa a la protección de las aguas contra la contaminación producida por nitratos utilizados en la agricultura, están implementando códigos de buenas prácticas agrícolas dirigidas a reducir este problema en las zonas catalogadas como vulnerables a esta contaminación. El empleo de dosis excesivas de abonos nitrogenados conlleva, no sólo las repercusiones mencionadas desde

el punto de vista medioambiental, sino que a su vez, supone un incremento considerable en el principal capítulo de gastos de producción: los fertilizantes.

Según lo expuesto, cobra un especial interés realizar estudios encaminados a mejorar la eficiencia de uso de los fertilizantes nitrogenados en cítricos. Concretamente, es necesario un mejor ajuste entre la dosis aplicada y la demanda estacional de nitrógeno en los cítricos, con el fin de limitar el nitrato lixiviado sin detrimento del crecimiento y/o la producción de este cultivo. La utilización de dosis cada vez más ajustadas a las necesidades nutritivas de los cítricos, junto con una correcta distribución a lo largo del ciclo de cultivo, contribuirá sin duda a minimizar el nitrato residual del abonado y por tanto el riesgo de lixiviación y contaminación de las aguas subterráneas.

Materiales y métodos

El presente estudio se llevó a cabo en cítricos de la variedad Lane Late (*Citrus sinensis* (L) Osbeck), injertados sobre citrange Carrizo (*Citrus sinensis* x *Poncirus trifoliata*), de cuatro años de edad, cultivados en contenedores de 40 litros con un suelo de textura franco arcillosa. Los árboles se mantuvieron en el exterior, bajo una estructura de techo transparente de policarbonato, con el fin de resguardar la experiencia de las inclemencias climáticas.

Con el fin de cuantificar la absorción de nitrógeno (N) y su reparto entre los diferentes órganos de la planta en distintos momentos del ciclo de desarrollo, se empleó la técnica de dilución isotópica mediante la incorpora-

Foto 1. Árboles de Lane Late sobre citrange Carrizo empleados en el ensayo.



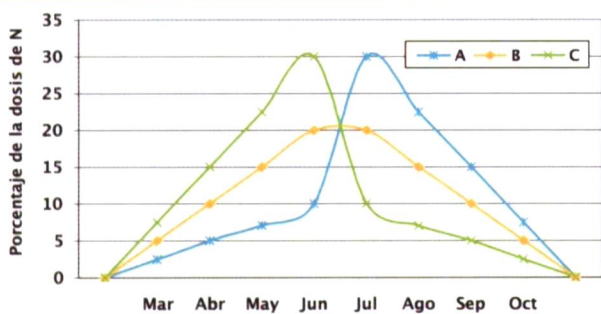


Foto 2. Árboles del ensayo en el momento de la floración.

ción del isótopo estable ^{15}N . La utilización de este isótopo como trazador, constituye una potente herramienta de investigación que permite obtener información exhaustiva de la dinámica del nitrógeno en el sistema planta-suelo, no accesible por los procedimientos y técnicas convencionales de estudio. A cada árbol se le aplicó desde el inicio de la actividad vegetativa (principio de marzo) hasta el inicio del letargo (final de octubre), 25 g de N en forma de nitrato cálcico, con un enriquecimiento del 5% en ^{15}N , siguiendo tres distribuciones estacionales (**figura 1, cuadro I**). Concretamente, se comparó la distribución (tratamiento B) propuesta por Legaz y Primo-Millo (2000), que distribuye de forma simétrica el abono, con otras dos distribuciones en las que el máximo aporte del abono (75%) se retrasó (tratamiento A) y se adelantó (tratamiento C) con respecto a ésta.

Se emplearon doce árboles por tratamiento, que se fueron extrayendo periódicamente en grupos de tres en momentos críticos

FIGURA 1. Porcentaje del total de la dosis de N aplicado mensualmente en los tres tratamientos (A, B y C).



CUADRO I.

Nitrógeno aportado (g) hasta el momento de extracción de las plantas; entre paréntesis porcentaje acumulado de la dosis total.

Tratamientos	Mayo	Junio	Julio	Enero
A	1,9 (7,5)	3,8 (15,0)	6,3 (25)	25 (100)
B	3,8 (15,0)	7,5 (30,0)	12,5 (50)	25 (100)
C	5,6 (22,5)	11,3 (45,0)	18,8 (75)	25 (100)



MAYOR RESISTENCIA

Salud Interior, Belleza Exterior

YaraLiva™ es una fuente de Nitrato de Calcio Superior Soluble que mantiene la fruta y la verdura fresca durante más tiempo.

Mejorando la estructura celular, no sólo se alarga la vida postcosecha, sino que también se consigue mayor resistencia y firmeza del fruto, mayor crecimiento de las raíces y un cultivo de mejor calidad en general.

El aumento de la calidad del cultivo hará aumentar la rentabilidad.



YaraLiva™

del desarrollo fenológico: final de la floración (principio de mayo), cuajado-caída fisiológica del fruto (principio de junio), final del cuajado (principio de julio) y maduración del fruto (final de enero). Los árboles extraídos se fraccionaron en sus distintos órganos jóvenes (flores/frutos, hojas y ramas de las brotaciones de primavera, verano y otoño) y órganos viejos (hojas, ramas y tronco), separándose asimismo las raíces gruesas y fibrosas. En todas estas fraccio-

nes se determinó la concentración en nitrógeno total, así como las proporciones isotópicas en ^{15}N y ^{14}N , mediante las técnicas de análisis elemental y espectrometría de masas.

Resultados

Biomasa

En la **figura 2** se presenta el peso seco de los árboles abonados siguiendo diferentes distribuciones del nitrógeno aportado (trata-

mientos A, B y C) a lo largo de la época de abonado. La distribución estacional del abono no influyó de forma significativa en la biomasa de los árboles extraídos en los momentos críticos del desarrollo fenológico. Por otro lado, la biomasa incrementó, con independencia de los tratamientos, de forma progresiva desde la floración hasta el estado de completa maduración del fruto. A lo largo del ciclo vegetativo, se encontraron dos tendencias diferenciadas:

- En el periodo comprendido entre floración y final del cuajado, se observó un ligero incremento como consecuencia del crecimiento incipiente del fruto y de la brotación de verano.

- Sin embargo se encontró, como cabía esperar, un considerable incremento en la biomasa total desde el final del cuajado del fruto hasta la maduración. Esto se debió básicamente a la contribución en biomasa de los frutos maduros y en menor proporción, al desarrollo de la brotación de otoño.

Concentración de nitrógeno

En los momentos de floración, cuajado y final del cuajado del fruto, las dosis diferenciales de nitrógeno ($A < B < C$) aportadas en estos periodos como consecuencia de las distintas distribuciones estacionales estudiadas, originaron concentraciones crecientes de nitrógeno (**cuadro II**) en la totalidad de los órganos. En cambio, se observó la tendencia opuesta en la extracción realizada en maduración, cuando todos los árboles recibieron el total de la dosis, de modo que la variabilidad en la concentración de N se debió únicamente a la pauta estacional de distribución del abonado.

En el momento de la floración, la aplicación diferencial del N originó diferencias significativas únicamente en la concentración de nitrógeno de las flores, siendo los árboles que recibieron un mayor aporte de nitrógeno hasta este momento (tratamiento C), los que presentaron mayores concentraciones. Esta tendencia se hizo también significativa para el resto de órganos de la parte aérea del árbol durante el cuajado y final del cuajado, ya que la dosis de N aportada hasta estos periodos fue notablemente superior a la aplicada hasta la floración. Sin embargo, se observó la tendencia inversa en el momento de maduración del fruto, siendo los árboles que recibieron el grueso del abonado de forma tardía (tratamiento A) los que presentaron valores significativamente mayores en todos sus ór-

CUADRO II.

Cambios en la concentración de nitrógeno² (%) en los distintos órganos de las plantas a lo largo del ciclo en función de la aplicación estacional del abono nitrogenado (tratamientos A, B y C).

	A		B		C		ANOVA ¹
FLORACIÓN							
Flor	2,17	b	2,21	b	2,53	a	*
Órganos vegetativos ^x	2,98		3,01		3,04		NS
Total órganos jóvenes	2,62	ab	2,62	b	2,81	a	*
Total órganos viejos	1,30		1,41		1,39		NS
Total parte aérea	1,52		1,64		1,66		NS
Total sistema radical	1,69		1,70		1,72		NS
Total árbol	1,59		1,66		1,69		NS
CUAJADO							
Fruto	1,88		2,04		2,31		*
Órganos vegetativos ^x	2,86	c	3,11	b	3,40	a	***
Total órganos jóvenes	2,73	c	2,92	b	3,22	a	***
Total órganos viejos	1,32		1,35		1,42		NS
Total parte aérea	1,52	b	1,59	ab	1,65	a	*
Total sistema radical	1,65		1,68		1,73		NS
Total árbol	1,57	b	1,65	a	1,68	a	*
FINAL CUAJADO							
Fruto	1,82	b	1,93	a	2,00	a	**
Órganos vegetativos ^w	2,60	b	2,75	a	2,82	a	*
Total órganos jóvenes	2,47	b	2,61	a	2,67	a	*
Total órganos viejos	1,32	b	1,35	ab	1,42	a	*
Total parte aérea	1,61	b	1,67	ab	1,74	a	*
Total sistema radical	1,60	b	1,66	ab	1,77	a	NS
Total árbol	1,61	b	1,67	b	1,75	a	**
MADUREZ FRUTO							
Fruto	1,01	a	0,85	b	0,72	c	***
Órganos vegetativos ^v	2,17	a	2,06	ab	1,99	b	*
Total órganos jóvenes	1,61	a	1,55	a	1,24	b	**
Total órganos viejos	1,13	a	1,06	b	0,94	c	***
Total parte aérea	1,39	a	1,30	b	1,10	c	***
Total sistema radical	1,21		1,16		1,15		NS
Total árbol	1,32	a	1,25	a	1,12	b	**

²: Cada valor es la media de 3 árboles.

¹: ANOVA, diferencias significativas entre medias debidas a los tratamientos, para p>0,05 no significativa (NS); p≤0,05 (*); p≤0,01 (**) y p≤0,001 (***). Letras diferentes en una misma fila indican diferencias significativas entre tratamientos para p>0,05 (Test LSD-Fisher).

^x: Hojas y ramas de la brotación de primavera.

^w: Hojas y ramas de la brotación de primavera y verano.

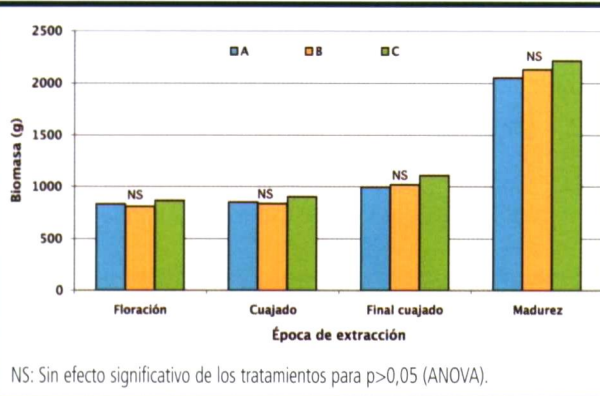
^v: Hojas y ramas de la brotación de primavera, verano y otoño.

ganos. El sistema radical, si bien presentó una tendencia paralela a la observada en los órganos de la parte aérea, las diferencias encontradas en la concentración de N no fueron significativas en ninguno de los periodos estudiados.

Cabe destacar, que el aporte tardío (tratamiento A) del grueso de la dosis de N (75% del total del abono nitrogenado), coincidiendo con la fase de crecimiento del fruto, originó mayores concentraciones de N en el fruto maduro, que el caso en que esta fracción de la dosis se aplicó de forma temprana (tratamiento C). Concentraciones más elevadas de N en el fruto conllevarían a un retraso en el momento de la recolección, ya que según Quiñones *et al.*, (2005) valores altos de N en el fruto se asocian a un menor índice de color de la corteza (frutos con mayor coloración verdosa). Por otro lado, los mayores valores de N encontrados al final del ciclo en los órganos jóvenes y viejos de los árboles abonados siguiendo las distribuciones A y B, indican una mayor disponibilidad de este elemento para el desarrollo de nuevos órganos en el siguiente ciclo vegetativo.

Con independencia de la pauta de distribución del abonado, se observó al final del ciclo una disminución de las concentraciones de nitrógeno en todos los órganos, como consecuencia del incremento de biomasa de éstos. Este decremento fue especialmente acusado en los órganos jóvenes, al ser éstos los

FIGURA 2. Efecto de la aplicación estacional del abonado nitrogenado (tratamientos A, B y C) sobre la biomasa de las plantas en cada estado fenológico.



El aporte tardío del grueso de la dosis de N originó mayores concentraciones de N en el fruto maduro, lo que conllevaría a un retraso en el momento de la recolección

que presentaron proporcionalmente mayores incrementos en su peso seco.

Nitrógeno derivado del fertilizante

El nitrógeno derivado del fertilizante (Nddf) es la proporción de N en un órgano o en la planta completa que procede del ferti-

zante frente a su contenido total de N. Este parámetro es muy útil para cuantificar la contribución relativa del nitrógeno aplicado con el fertilizante al desarrollo de los órganos jóvenes, frente al procedente de otras fuentes (reservas de la propia planta, suelo y/o agua de riego).

En los momentos de floración, cuajado y final del cuajado del fruto, todos los órganos presentaron valores significativamente crecientes de Nddf (cuadro III), como consecuencia de las dosis diferenciales de nitrógeno ($A < B < C$) recibidas. La relación entre el nitrógeno aportado

y el Nddf fue directa, de modo que los árboles que recibieron un mayor aporte de N durante estos periodos (tratamiento C) presentaron mayores porcentajes de Nddf. En cambio, en el momento de madurez del fruto se observó una tendencia opuesta, debida únicamente a la distinta distribución estacional del abonado; siendo los árboles que recibieron la mayor parte del abono de forma tardía (tratamiento A) los que mostraron valores significativamente más elevados en todos sus órganos.

Atendiendo al significado agronómico de este parámetro, es de notable interés indicar que durante los periodos críticos (floración y cuajado), los menores valores de Nddf observados en el tratamiento A para los órganos jóvenes, conllevarían que el ar-



**EL LADO SALVAJE DE LA POTENCIA.
PUMA. FABRICADOS EN AUSTRIA.**

00800 CASE IH 00
00800 2273 4400

(*) La llamada es gratuita. Sin embargo, algunos operadores pueden cobrar la llamada si ésta se efectúa desde un teléfono móvil. Para obtener mayor información sobre las tarifas, consulte antes con su operador. Si tuviera alguna dificultad, también puede llamar al teléfono de pago 91.275.44.06.

bolado dependa en mayor medida del N procedente de sus propias reservas y del residual del suelo en relación al tratamiento C.

Eficiencia de uso del nitrógeno

La eficiencia de uso del nitrógeno (EUN) indica la proporción de N aplicado con el fertilizante que es absorbido por la planta. Generalmente, esta proporción no es creciente, de modo que conforme se aplican dosis crecientes la eficiencia disminuye.

Esta respuesta indica que únicamente se obtendrá información de interés agronómico, cuando se obtenga para una dosis de abono ajustada al consumo de N del cultivo, ya que una eficiencia baja no siempre es indicador de una baja capacidad de absorción del cultivo, sino más bien de una dosis excesiva.

Desde la floración hasta el final del cuajado del fruto, las distribuciones estacionales originaron dosis diferenciales de N aporta-

CUADRO III.

Cambios en el nitrógeno derivado del fertilizante (Nddf)^z en los distintos órganos de las plantas a lo largo del ciclo en función de la aplicación estacional del abono nitrogenado (tratamientos A, B y C).

	A		B		C		ANOVA ^y
FLORACIÓN							
Flor	14,01	c	18,68	b	22,02	a	***
Órganos vegetativos ^x	12,01	c	16,06	b	19,91	a	***
Total órganos jóvenes	12,74	c	17,15	b	20,79	a	***
Total órganos viejos	6,24	c	9,59	b	11,42	a	***
Total parte aérea	8,13	c	11,92	b	14,47	a	***
Total sistema radical	5,31	c	7,33	b	8,78	a	***
Total árbol	6,99	c	10,06	b	12,23	a	***
CUAJADO							
Fruto	32,49	c	37,65	b	43,01	a	***
Órganos vegetativos ^x	31,54	c	39,90	b	48,36	a	***
Total órganos jóvenes	31,63	c	39,65	b	47,72	a	***
Total órganos viejos	12,24	c	17,90	b	24,12	a	***
Total parte aérea	17,15	c	23,96	b	29,90	a	***
Total sistema radical	12,10	b	13,98	ab	16,74	a	*
Total árbol	15,06	c	20,26	b	24,71	a	***
FINAL CUAJADO							
Fruto	46,42	b	53,36	b	59,10	a	***
Órganos vegetativos ^w	43,37	b	53,36	a	54,60	a	***
Total órganos jóvenes	43,73	b	53,32	a	55,22	a	**
Total órganos viejos	23,66	c	29,44	b	35,19	a	***
Total parte aérea	31,42	c	39,01	b	43,09	a	***
Total sistema radical	16,38	b	20,67	b	27,67	a	**
Total árbol	25,45	c	32,14	b	37,13	a	***
MADUREZ FRUTO							
Fruto	61,95	a	53,44	b	51,60	b	***
Órganos vegetativos ^v	59,79	a	57,86	ab	56,48	b	*
Total órganos jóvenes	60,44	a	56,83	b	54,79	b	**
Total órganos viejos	42,44	a	42,74	a	39,95	b	*
Total parte aérea	53,62	a	50,91	b	49,13	b	**
Total sistema radical	42,16		41,64		40,22		NS
Total árbol	49,84	a	47,82	b	46,15	c	**

^z: Cada valor es la media de 3 árboles.

^y: ANOVA, diferencias significativas entre medias debidas a los tratamientos, para p>0,05 no significativa (NS); p≤0,05 (*); p≤0,01 (**) y p≤0,001 (***). Letras diferentes en una misma fila indican diferencias significativas entre tratamientos para p>0,05 (Test LSD-Fisher).

^x: Hojas y ramas de la brotación de primavera.

^w: Hojas y ramas de la brotación de primavera y verano.

^v: Hojas y ramas de la brotación de primavera, verano y otoño.

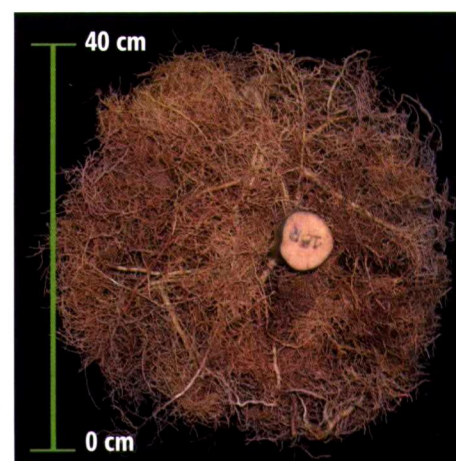


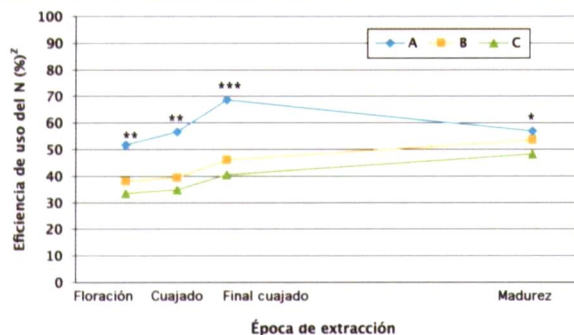
Foto 3. Detalle del sistema radical en la extracción de floración.

Los mayores valores de N encontrados al final del ciclo en los órganos jóvenes y viejos de los árboles abonados siguiendo las distribuciones A y B, indican una mayor disponibilidad de este elemento para el desarrollo de nuevos órganos en el siguiente ciclo vegetativo

das, por tanto los porcentajes de eficiencia de absorción de N del fertilizante por la planta completa decrecieron de forma progresiva (figura 3), conforme se aportaron mayores cantidades de N (cuadro I, tratamientos A, B y C). Las notables diferencias encontradas entre los tratamientos, se debieron a que en estos periodos la dosis aportada con C superó el consumo del cultivo, mientras que con A la cantidad aportada fue más ajustada a la demanda de la planta.

Por otro lado, es en el momento de maduración del fruto, cuando la eficiencia adquiere su verdadero sentido agronómico, ya que todos los árboles habían recibido el total de la dosis de N. En este momento la mayor eficiencia se encontró con el tratamiento A, debido a que con esta distribución los mayores aportes de N coincidieron con la época estival de mayor absorción radicular; mientras que con el C se adelantaron las aplicaciones de N a la época menos eficiente (primavera).

FIGURA 3. Efecto de la aplicación estacional del abonado nitrogenado (tratamientos A, B y C) sobre la eficiencia de uso del nitrógeno (EUN) de las plantas en cada estado fenológico.



²: Cada valor es la media de tres árboles.

$EUN = \frac{^{15}N \text{ (mg)}}{^{15}N \text{ (mg) en fertilizante}} \times 100$

ANOVA, diferencias significativas entre medias debidas a los tratamientos, $P \leq 0,05$ (*); $P \leq 0,01$ (**) y $P \leq 0,001$ (***)

Conclusiones

Del presente estudio se deduce que el aporte de la mayor parte de la dosis de N (75%) desde el final del cuajado hasta el inicio del letargo (principio de julio a final de octubre), en comparación con aportes inferiores (25%), mejoró la eficiencia del N aplicado en el momento de maduración del fruto. Asimismo aumentó el contenido en N del total de la planta, incrementando la disponibilidad de este nutriente para el siguiente ciclo de cultivo.

Sin embargo, el retraso en la aplicación masiva de N podría tener un efecto negativo para las variedades tempranas, ya que aumenta considerablemente la concentración en N total del fruto y esto puede originar un retardo en la época de recolección. En cambio, esta respuesta sería incluso beneficiosa para las variedades de recolección tardía, al retrasar el cambio de color del fruto. ●

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por el Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria y fondos FEDER (INIA, proyecto RTA04-064). Los autores desean expresar especialmente su agradecimiento a M. C. Prieto, J. Giner, T. Estellés y B. Alberola, del Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias, por su inestimable ayuda en la elaboración del presente ensayo.

BIBLIOGRAFÍA

Babiker, I.S., Mohamed, A.A., Terao, H., Kato, K., Ohta, K. 2004 Assessment of ground-water contamination by nitrate leaching from intensive vegetable cultivation using geographical information system. Environ. Int. 29(8), 1009-1017.

De Paz, J.M., Ramos, C. 2004 Simulation of nitrate leaching for different nitrogen fertilization rates in a region of Valencia (Spain) using a GIS-GLEAMS system. Agric. Ecosyst. Environ. 103(1), 59-73.

Legaz F. y Primo-Millo E., 2000 Criterios para la fertilización de los cítricos en riego localizado por goteo. En: Curso de fertirrigación de cítricos. J. F. Giner (ed). Ed. M.V. Phytoma-España, S. L. Universitat Politècnica València. Conselleria d'Agricultura, Peixca i Alimentació. 1: 137-155

Quiñones A., Bañuls J., Primo-Millo E. y Legaz F. 2005 Recovery of the fertilizer ^{15}N applied with different seasonal distribution in citrus trees. Plant and Soil, 268: 367-376.



INDUSTRIAS DAVID S.L
Alta tecnología para sus viñedos
y frutales



**azufradoras, deshojadoras, intercepas
alineadoras de leña, despuntadoras
distribuidores estiércol,
prepodadoras de viña en espaldera
prepodadora de árboles, cultivadores
tritadoras...**

P.I. Urbayecla II. Parcelas 28-30
C.P: 30510 Yecla-Murcia-España
tfno. (+34) 968 71 81 19 ::: fax (+34) 968 79 58 51
e-mail: industriasdavid@industriasdavid.com